

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
7. Juli 2005 (07.07.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2005/062000 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: **G01F 23/00**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/053463

(22) Internationales Anmeldedatum:  
14. Dezember 2004 (14.12.2004)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
103 607 11.0 19. Dezember 2003 (19.12.2003) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): **ENDRESS+HAUSER GMBH+CO. KG** [DE/DE];  
Hauptstrasse 1, 79689 Maulburg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **STELTNER, Holger**  
[DE/DE]; Eulenberg 26, 79110 Freiburg (DE). **SCHAE-  
FER, Reinhard** [DE/DE]; Am Weiheracker 24, 79585  
Steinen (DE). **SPANKE, Dietmar** [DE/DE]; Bannweg  
3, 79585 Steinen (DE). **SCHMITT, Edgar** [DE/DE];  
Schmiedgasse 2, 77948 Friesenheim (DE).

(74) Anwalt: **ANDRES, Angelika**; c/o Endress+Hauser  
(Deutschland), Holding GmbH, PatServe, Colmarer  
Strasse 6, 79576 Weil am Rhein (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,  
CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,  
GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,  
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,  
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,  
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,  
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,  
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,  
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,  
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,  
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,  
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL,  
PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,  
CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu ver-  
öffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-  
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-  
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der  
PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: FILLING LEVEL MEASUREMENT DEVICE AND FILLING LEVEL MEASUREMENT AND MONITORING  
METHOD

(54) Bezeichnung: FÜLLSTANDSMESSGERÄT UND VERFAHREN ZUR FÜLLSTANDSMESSUNG UND -ÜBERWA-  
CHUNG

(57) Abstract: The invention relates to a method for measuring the filling level (7) of a filling material (1) in a container (3) and for  
monitoring at least one predefined filling level ( $L_{min}$ ,  $L_{max}$ ) with the aid of a filling level measurement device (5), and a corresponding  
filling level measurement device (5). According to the invention, the monitoring corresponds to high security standards, wherein  
transmission signals are emitted in the direction of the filling material (1) in each measuring cycle and the echo signals (E) thereof  
are received, the echo signals (E) are used to determine the filling level (7) in a first evaluation method and it is possible to determine  
whether the filling level exceeds or falls below the predefined filling levels ( $L_{min}$ ,  $L_{max}$ ) using the echo signals (E) in a second  
evaluation method which is independent from the first evaluation method.

(57) Zusammenfassung: Es ist ein Verfahren zur Messung eines Füllstandes (7) eines Füllgutes (1) in einem Behälter (3) und zur  
Überwachung mindestens eines vorgegebenen Füllstands ( $L_{min}$ ,  $L_{max}$ ) mit einem nach dem Laufzeitprinzip arbeitenden Füllstands-  
meßgerät (5) sowie ein entsprechendes Füllstandsmeßgerät (5) vorgesehen, wobei die Überwachung hohen Sicherheitsstandards  
genügt, bei dem in jedem Meßzyklus Sendesignale (S) in Richtung des Füllgutes (1) gesendet und deren Echosignale (E) empfangen  
werden, anhand der Echosignale (E) in einem ersten Auswerteverfahren der Füllstand (7) bestimmt wird, und anhand der Echosig-  
nale (E) in einem zweiten von dem ersten Auswerteverfahren unabhängigen Auswerteverfahren bestimmt wird, ob der Füllstand die  
vorgegebenen Füllstände ( $L_{min}$ ,  $L_{max}$ ) über oder unterschreitet.



WO 2005/062000 A2

## **Füllstandsmeßgerät und Verfahren zur Füllstandsmessung und -überwachung**

Die Erfindung betrifft ein nach dem Laufzeitprinzip arbeitendes Füllstandsmeßgerät und ein Verfahren zur Messung eines Füllstandes eines Füllgutes in einem Behälter und zur Überwachung mindestens eines fest vorgegebenen Füllstandes mit dem Füllstandsmeßgerät.

Bei der Füllstandsmessung nach dem Laufzeitprinzip werden periodisch Sendesignale, z.B. Mikrowellen- oder Ultraschallsignale, mittels eines Sende- und Empfangselementes zur Oberfläche eines Füllguts gesendet und deren an der Oberfläche reflektierte Echesignale nach einer abstandsabhängigen Laufzeit wieder empfangen. Es wird eine die Echoamplituden als Funktion der Laufzeit darstellende Echofunktion gebildet. Jeder Wert dieser Echofunktion entspricht der Amplitude eines in einem bestimmten Abstand vom Sende- und Empfangselement reflektierten Echos.

Aus der Echofunktion wird ein Nutzecho bestimmt, das wahrscheinlich der Reflexion eines Sendesignals an der Füllgutoberfläche entspricht. Dabei wird in der Regel angenommen, daß das Nutzecho, eine größere Amplitude aufweist, als die übrigen Echos. Aus der Laufzeit des Nutzechos ergibt sich bei einer bekannten Ausbreitungsgeschwindigkeit der Sendesignale unmittelbar der Abstand zwischen der Füllgutoberfläche und dem Sende- und Empfangselement und damit der Füllstand.

Zur Bestimmung des Füllstandes können alle bekannten Verfahren angewendet werden, die es ermöglichen, verhältnismäßig kurze Entfernungen, z.B. Entfernungen unter 100 Metern, mittels reflektierter Sendesignale zu messen.

Ein bekanntes Verfahren ist das in Verbindung mit mit Mikrowellen arbeitenden Füllstandsmeßgeräten eingesetzte Frequenzmodulations-Dauerstrichradar-Verfahren (FMCW-Verfahren). Beim FMCW-Verfahren wird kontinuierlich ein Mikrowellensignal gesendet, das periodisch frequenzmoduliert ist, beispielsweise nach einer Sägezahnfunktion. Die Frequenz des empfangenen Echesignals weist daher gegenüber der Augenblicksfrequenz, die das Sendesignal zum Zeitpunkt des Empfangs hat, eine Frequenzdifferenz auf, die von der Laufzeit des Echesignals abhängt. Die Frequenzdifferenz zwischen Sendesignal und Empfangssignal, die durch Mischung beider Signale und Auswertung des Fourierspektrums des Mischsignals gewonnen werden kann, entspricht somit dem Abstand der reflektierenden Fläche von der Antenne. Ferner entsprechen die Amplituden der Spektrallinien des durch Fouriertransformation

gewonnenen Frequenzspektrums den Echoamplituden. Dieses Fourierspektrum stellt daher in diesem Fall die Echofunktion dar.

- [006] Ein weiteres bekanntes Verfahren ist das Pulslaufzeitverfahren, das sowohl bei mit Mikrowellen als auch bei mit Ultraschall arbeitenden Füllstandsmeßgeräten eingesetzt wird. Beim Pulslaufzeitverfahren werden periodisch kurze Sendesignale, sogenannte Sendepulse, gesendet, die von der Füllgutoberfläche reflektiert und deren Echosignale nach einer abstandsabhängigen Laufzeit wieder empfangen werden. Die empfangene Signalamplitude als Funktion der Zeit stellt die Echofunktion dar. Jeder Wert dieser Echofunktion entspricht der Amplitude eines in einem bestimmten Abstand vom Sende- und Empfangselement reflektierten Echos.
- [007] In der Füllstandsmeßtechnik wird dabei häufig ein erheblicher Aufwand betrieben, um auch unter schwierigen Meßbedingungen, z.B. bei in den Behälter fest eingebauten Störern, sporadisch in den Signalweg hineinragenden Rührern oder schlechten Signalqualitäten, zuverlässige Messungen durchführen zu können.
- [008] Hierzu werden zum Teil sehr komplexe Signalaufnahme-, Signalaufbereitungs- und/oder Signalauswerteverfahren eingesetzt.
- [009] In einer Vielzahl von Anwendungen ist es zusätzlich zur Füllstandsmessung erforderlich, ein Über- oder Unterschreiten eines oder mehrerer fest vorgegebener Füllstände zu überwachen. Ein solcher fest vorgegebener Füllstand ist beispielsweise eine Füllstandsobergrenze, die nicht überschritten werden darf, um eine Überfüllung des Behälters zu vermeiden. Ein weiteres Beispiel ist eine Füllstandsuntergrenze, die nicht unterschritten werden darf, z.B. um ein Trockenlaufen von Pumpen auszuschließen.
- [010] Die Überwachung von vorgegebenen Füllständen dient der Betriebssicherheit und ist zum Teil sogar gesetzlich vorgeschrieben. So enthält z.B. das in Deutschland geltende Wasserhaushaltsschutzgesetz entsprechende Vorschriften.
- [011] Aufgrund der Sicherheitsrelevanz der Überwachung von vorgegebenen Füllständen ist es zwingend, daß die Überwachung beständig fehlerfrei erfolgt. Dabei muß die Überwachung hohen Sicherheitsstandards genügen. Vorzugsweise kann das Funktionieren der Überwachung im Bezug auf alle im Betrieb möglicherweise auftreten Meßsituationen vorab überprüft werden.
- [012] In vielen Anwendungen werden daher zusätzlich zu kontinuierlich messenden Füllstandmeßgeräten Füllstandsgrenzschalter eingesetzt, die das Über- bzw. Unterschreiten der vorgegebenen Füllstände überwachen.
- [013] Signalaufnahme-, Signalaufbereitungs- und/oder Signalauswerteverfahren han-

delstüblicher Füllstandsgrenzschalter sind in der Regel im Vergleich zu Füllstandsmeßgeräten deutlich einfacher aufgebaut. Entsprechend kann deren fehlerfreies Funktionieren leichter getestet und im Bezug auf alle im Betrieb möglicherweise auftreten Meßsituationen vorab überprüft werden.

[014] Es stellt aber einen erheblichen Kosten-, Platz- und Wartungsbedarf dar, diese Geräte zusätzlich zu dem Füllstandsmeßgerät einzusetzen.

[015] Es ist möglich, ein Über- oder Unterschreiten der fest vorgegebenen Füllstände anhand des mit dem kontinuierlich arbeitenden Füllstandsmeßgerät gemessenen Füllstandes zu überwachen. Da bei den beschriebenen herkömmlichen Füllstandsmeßgeräten jedoch in der Regel komplexe Signalaufnahme-, Signalaufbereitungs- und/oder Signalauswerteverfahren eingesetzt werden, ist es häufig nicht möglich, die mit ihnen durchführbare Grenzstandsüberwachung im Bezug auf alle möglicherweise auftretenden Meßsituationen vorab zu testen, um mögliche Fehlmessungen mit Sicherheit auszuschließen.

[016] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, Füllstandsmessungen und Überwachungen mindestens eines fest vorgegebenen Füllstands mit einem nach dem Laufzeitprinzip arbeitenden Füllstandsmeßgerät zu ermöglichen, wobei die Überwachung hohen Sicherheitsstandards genügt.

[017] Hierzu besteht die Erfindung in einem Verfahren zur Messung eines Füllstandes eines Füllgutes in einem Behälter und zur Überwachung mindestens eines vorgegebenen Füllstands in einem Behälter mit einem nach dem Laufzeitprinzip arbeitenden Füllstandsmeßgerät, bei dem

[018] - in jedem Meßzyklus Sendesignale in Richtung des  
[019] Füllgutes gesendet und deren Echosignale empfangen  
[020] werden,

[021] - anhand der Echosignale in einem ersten  
[022] Auswerteverfahren der Füllstand bestimmt wird, und

[023] - anhand der Echosignale in einem zweiten von dem  
[024] ersten Auswerteverfahren unabhängigen  
[025] Auswerteverfahren bestimmt wird, ob der Füllstand  
[026] die vorgegebenen Füllstände über- oder unterschreitet.

[027] Weiter besteht die Erfindung in einem Verfahren zur Messung eines Füllstandes eines Füllgutes in einem Behälter und zur Überwachung mindestens eines vorgegebenen Füllstands in einem Behälter mit einem nach dem Laufzeitprinzip arbeitenden Füllstandsmeßgerät, bei dem

- [028] - in einem Füllstandsmeßzyklus Sendesignale in  
[029] Richtung des Füllgutes gesendet und deren  
[030] Echosignale empfangen werden,  
[031] - anhand der im Füllstandsmeßzyklus aufgenommenen  
[032] Echosignale in einem ersten Auswerteverfahren der  
[033] Füllstand bestimmt wird, und  
[034] - in einem Grenzstandsmeßzyklus Sendesignale in  
[035] Richtung des Füllgutes gesendet und deren  
[036] Echosignale empfangen werden,  
[037] - anhand der im Grenzstandsmeßzyklus aufgenommenen  
[038] Echosignale in einem zweiten von dem  
[039] ersten Auswerteverfahren unabhängigen  
[040] Auswerteverfahren bestimmt wird, ob der Füllstand  
[041] die vorgegebenen Füllstände über- oder unterschreitet.  
[042] Gemäß einer Ausgestaltung der obigen Verfahren weist das Füllstandsmeßgerät einen ersten Signalverarbeitungszweig auf, in dem die Echosignale aufbereitet werden, die zur Bestimmung des Füllstandes verwendet werden.
- [043] Gemäß einer weiteren Ausgestaltung weist das Füllstandsmeßgerät einen zweiten Signalverarbeitungszweig auf, in dem die Echosignale aufbereitet werden, die zur Feststellung des Über- oder Unterschreitens der fest vorgegebenen Füllstände herangezogen werden.
- [044] Gemäß einer Weiterbildung der obigen Verfahren wird zur Feststellung des Über- oder Unterschreitens der vorbestimmten Füllstände aus dem Echosignal eine Echofunktion abgeleitet, die eine Amplitude des Echosignals als Funktion einer Laufzeit darstellt. Es wird ein Maß für die unter der Echofunktion im Bereich einer jeweiligen für den vorgegebenen Füllstand zu erwartenden Laufzeit eingeschlossene Fläche bestimmt und festgestellt, daß der Füllstand den jeweiligen vorgegebenen Füllstand überschreitet, wenn das Maß ein vorgegebenes Referenzmaß überschreitet. Ebenso wird festgestellt, daß der Füllstand den jeweiligen vorgegebenen Füllstand unterschreitet, wenn das Maß ein vorgegebenes Referenzmaß unterschreitet.
- [045] Gemäß einer ersten Ausgestaltung entspricht das Maß einem Integral über die Echofunktion im Bereich der jeweiligen für den vorgegebenen Füllstand zu erwartenden Laufzeit.
- [046] Gemäß einer anderen Ausgestaltung entspricht das Maß einem Mittelwert, Median oder Maximum der Amplituden der Echofunktion im Bereich der jeweiligen für den

- vorgegebenen Füllstand zu erwartenden Laufzeit.
- [047] Gemäß einer Weiterbildung des Verfahrens wird zur Feststellung des Über- oder Unterschreitens der vorbestimmten Füllstände aus dem Echosignal eine Echofunktion abgeleitet, die eine Amplitude des Echosignals als Funktion einer Laufzeit darstellt. Es wird ein erstes Maß für die unter der Echofunktion im Bereich einer jeweiligen für den vorgegebenen Füllstand zu erwartenden Laufzeit eingeschlossene Fläche bestimmt. Auf gleiche Weise wird ein Vergleichsmaß für einen vorgegebenen Referenzbereich der Echofunktion bestimmt, und anhand eines Vergleiches des jeweiligen ersten Maßes mit dem Vergleichsmaß bestimmt, ob der Füllstand den jeweiligen vorgegebenen Füllstand über- oder unterschreitet.
- [048] Gemäß einer Weiterbildung wird anhand von Ergebnissen des zweiten Auswerteverfahrens eine Plausibilitätskontrolle von Ergebnissen des ersten Auswerteverfahrens vorgenommen.
- [049] Gemäß einer Weiterbildung des Verfahrens, bei dem das Füllstandsmeßgerät ein mit Ultraschall arbeitendes Füllstandsmeßgerät ist, werden zur Feststellung ob einer der vorgegebenen Füllstände über- oder unterschritten ist Sendesignale mit einer fest vorgegebenen Sendefrequenz ausgesendet.
- [050] Weiter besteht die Erfindung in einem nach dem Laufzeitprinzip arbeitenden Füllstandsmeßgerät mit
- [051] - einem Sende- und Empfangselement zum Senden von
- [052] Sendesignalen und zum Empfangen von deren
- [053] Echosignalen,
- [054] - einem ersten Auswertemodul, zur Ausführung eines
- [055] ersten Auswerteverfahrens zur Bestimmung des
- [056] Füllstands, und
- [057] - einem zweiten Auswertemodul, zur Ausführung eines
- [058] zweiten Auswerteverfahrens zur Feststellung
- [059] eines Über- oder Unterschreitens mindestens eines fest vorgegebenen
- [060] Füllstands.
- [061] Gemäß einer Weiterbildung des Füllstandsmeßgeräts weist dieses einen ersten Signalverarbeitungszweig auf, der zur Aufbereitung von Echosignalen, die zur Bestimmung des Füllstandes verwendet werden, dient und einen zweiten Signalverarbeitungszweig auf, der zur Aufbereitung von Echosignalen dient, die zur Feststellung des Über- oder Unterschreitens der fest vorgegebenen Füllstände herangezogen werden.

- [062] Die Erfindung und weitere Vorteile werden nun anhand der Figuren der Zeichnung, in denen drei Ausführungsbeispiele dargestellt sind, näher erläutert; gleiche Elemente sind in den Figuren mit gleichen Bezugszeichen versehen.
- [063] Fig. 1 zeigt eine Anordnung zur Füllstandsmessung;
- [064] Fig. 2 zeigt eine vereinfachte Darstellung einer Echofunktion, wie sie
- [065] mit der Anordnung von Fig. 1 aufgenommen werden kann;
- [066] Fig. 3 zeigt einen Aufbau eines mit Mikrowellen
- [067] arbeitenden Füllstandsmeßgeräts;
- [068] Fig. 4 zeigt einen Ablauf eines Meßzyklusses mit einer Messung;
- [069] Fig. 5 zeigt einen Ablauf eines Meßzyklusses mit zwei Messungen;
- [070] Fig. 6 zeigt einen Aufbau eines mit Mikrowellen
- [071] arbeitenden Füllstandsmeßgeräts mit zwei getrennten
- [072] Signalaufbereitungszweigen; und
- [073] Fig. 7 zeigt einen Aufbau eines mit Ultraschall
- [074] arbeitenden Füllstandsmeßgeräts;
- [075] Fig. 1 zeigt eine Anordnung zur Füllstandsmessung und zur Überwachung eines Über- oder Unterschreitens mindestens eines vorgegebenen Füllstandes. Es ist ein mit einem Füllgut 1 gefüllter Behälter 3 dargestellt. Auf dem Behälter 3 ist ein nach dem Laufzeitprinzip arbeitendes Füllstandsmeßgerät 5 angeordnet. Als Füllstandsmeßgerät 5 eignet sich z.B. ein mit Mikrowellen arbeitendes Füllstandsmeßgerät oder ein mit Ultraschall arbeitendes Füllstandsmeßgerät. Das Füllstandsmeßgerät 5 dient dazu, einen Füllstand 7 des Füllguts 1 im Behälter zu messen und das Über- oder Unterschreiten mindestens eines vorgegebenen Füllstandes zu überwachen.
- [076] Das Füllstandsmeßgerät 5 weist mindestens ein Sende- und Empfangselement 11 zum Senden von Sendesignalen S und zum Empfangen von Echosignalen E auf. In dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist ein mit Mikrowellen arbeitendes Füllstandsmeßgerät dargestellt, das als Sende- und Empfangselement 11 eine einzige Antenne 11 aufweist, die sowohl sendet als auch empfängt. Alternativ können aber auch eine Antenne zum Senden und mindestens eine weitere Antenne zum Empfangen vorgesehen sein. Bei einem mit Ultraschall arbeitenden Füllstandsmeßgerät wäre als Sende- und Empfangselement anstelle der Antenne ein Ultraschallsensor mit einem elektromechanischen Wandler, z.B. einem piezoelektrischen Element, vorzusehen.
- [077] Die Sendesignale S werden in Richtung des Füllguts 1 gesendet und an einer Füllgutoberfläche reflektiert. Das reflektierte Sendesignal bildet das Echosignal E.
- [078] Bei der Füllstandsmessung nach dem Laufzeitprinzip werden in jedem Meßzyklus

Sendesignale S, z.B. kurze Mikrowellen- oder Ultraschallpulse, in Richtung eines Füllgutes 1 ausgesendet. Es werden deren Echesignale E aufgenommen und einer Signalverarbeitung 13 zugeführt. Die Signalverarbeitung 13 dient der Aufbereitung der empfangenen Echesignale E. Fig. 3 zeigt einen vereinfachten Aufbau für ein mit Mikrowellen arbeitendes Füllstandsmeßgerät 5. Die Signalverarbeitung 13 ist an das Sende- und Empfangselement 11 angeschlossen und umfaßt ein Hochfrequenzmodul 14 und ein analoges Modul 16.

[079] Das Hochfrequenzmodul 14 ist beispielsweise wie folgt aufgebaut. Es weist einen Mikrowellengenerator auf, der kontinuierlich Mikrowellen mit einer Frequenz im Gigahertzbereich erzeugt. Es ist ein mit einer Pulswiederholfrequenz schwingender Generator vorgesehen, der mit einer Steuerschaltung verbunden ist. Die Steuerschaltung startet den Mikrowellengenerator für ein sehr kurzes Zeitintervall, das der gewünschten Pulsdauer der zu sendenden Mikrowellenimpulse entspricht, und stoppt ihn dann wieder. Dieser Vorgang wiederholt sich mit der an der Steuerschaltung anliegenden Pulswiederholfrequenz. Diese beträgt z.B. einige Megahertz. Der Mikrowellengenerator ist über einen Richtkoppler oder Zirkulator mit dem Sende- und Empfangselement 11 verbunden.

[080] Vom Sende- und Empfangselement 11 empfangene Echesignale E werden über den Richtkoppler oder Zirkulator der Empfangs- und Auswerteschaltung zugeführt, verstärkt und einem ersten Eingang eines Mischers zugeführt. Der mit der Pulswiederholfrequenz schwingende Generator ist über eine Zeitverzögerungsstufe und eine zweite identisch zur ersten Steuerschaltung arbeitende Steuerschaltung mit einem zweiten Mikrowellengenerator verbunden. Der zweite Mikrowellengenerator ist identisch zu dem ersten Mikrowellengenerator aufgebaut. Die Steuerschaltung bewirkt, daß der zweite Mikrowellengenerator mit der Pulswiederholfrequenz wiederkehrend Mikrowellenpulse erzeugt. Diese liegen an einem zweiten Eingang des Mischers an. Die Zeitverzögerungsstufe verzögert die eingehenden Signale um eine variable, z.B. gemäß einer Sägezahnfunktion endlicher Breite ansteigende, Verzögerungszeit. Im Mischer wird also einem durch eine füllstands-abhängige Laufzeit verzögerten Mikrowellensignal ein im wesentlichen formgleiches um eine variable Verzögerungszeit verzögertes Mikrowellensignal überlagert. Das am Ausgang des Mischers zur Verfügung stehende Signal entspricht der Korrelation der an dessen beiden Eingängen eingehenden Mikrowellensignale. Es enthält einen hochfrequenten Anteil, der Frequenzen enthält, die im wesentlichen durch die Summe der an den Eingängen anliegenden Frequenzen gegeben ist und einen niederfrequenten Anteil, der Frequenzen

enthält, die wesentlich durch die Differenz der an den Eingängen anliegenden Frequenzen gegeben ist. Es wird mittels eines Tiefpasses der niederfrequente Anteil herausgefiltert und dem analogen Modul 16 zugeführt. Dort wird das eingehende Signal z.B. mittels einer Abtast- und Halteschaltung aufgezeichnet und dessen jeweilige Signalamplitude  $A$  zusammen mit der zugehörigen Verzögerungszeit  $t$  als Echofunktion aufgezeichnet.

[081] Die in der Signalverarbeitung 13 aufbereiteten Echosignale  $E$  werden einer Auswerteeinheit 17 zugeführt. Die eigentliche Auswertung erfolgt vorzugsweise in digitaler Form. Hierzu werden die aufbereiteten Echosignale einem Analog-Digital-Wandler 18 zugeführt, dessen Ausgangssignal an einem Eingang der Auswerteeinheit 17 anliegt.

[082] Mittels der Auswerteeinheit 17 wird anhand der Echosignale  $E$  in einem ersten Auswerteverfahren der Füllstand bestimmt. Hierzu weist die Auswerteeinheit 17 eine digitale Einheit 19, z.B. einen Mikrocontroller oder einen digitalen Signalprozessor, und einen diesem zugeordneten ersten Speicher 21 auf. Das erste Auswerteverfahren wird ausgeführt, indem auf der digitalen Einheit 19 in dem ersten Speicher 21 abgelegte Auswertungsprogramme auf die aufbereiteten Echosignale  $E$  angewendet werden.

[083] Üblicherweise wird aus den empfangenen Echosignalen  $E$  eine Echofunktion  $A(t)$  abgeleitet, die Amplituden  $A$  des Echosignals  $E$  in Abhängigkeit von deren Laufzeit  $t$  enthält.

[084] In Fig. 2 ist ein stark vereinfachtes Beispiel einer solchen Echofunktion für die Anordnung von Fig. 1 dargestellt. Die Echofunktion weist zwei ausgeprägte Maxima auf. Diese Maxima sind Echos  $L$  und  $B$ , von denen das Echo  $L$  auf eine Reflektion an der Füllgutoberfläche und das Echo  $B$  auf eine Reflektion an einem Boden 15 des Behälters 3 zurückzuführen sind. Die Echos  $L$  und  $B$  treten nach Laufzeiten  $t_L$ ,  $t_B$  auf, die einer Entfernung zwischen dem Sende- und Empfangselement 11 und der Füllgutoberfläche, bzw. dem Boden 15 entsprechen.

[085] In dem ersten Auswerteverfahren wird das von der Reflektion an der Füllgutoberfläche stammende Echo  $L$  ermittelt. Hierzu werden in heutigen Füllstandsmeßgeräten bereits eine Vielzahl zum Teil sehr komplexer Verfahren eingesetzt, die eine genaue Analyse der Echosignale und eine Erkennung des vom Füllstand stammenden Echos  $L$  ermöglichen. Dabei werden z.B. Signalfilterungen ausgeführt, Mehrfachechos, die auf mehrmalige Reflektionen im Behälter zurückzuführen sind ausgeblendet, Echos die auf Reflektionen an im Behälter eingebauten Störern zu-

rückzuführen sind ausgeblendet und vieles mehr. Am Ende des ersten Auswerteverfahrens steht in der Regel die Erkennung des von der Reflektion an der Füllgutoberfläche stammenden Echos  $L$ , aus dessen Laufzeit  $t_L$  sich der aktuelle Füllstand 7 ergibt.

[086] Erfindungsgemäß werden die Echosignale  $E$  zusätzlich einem zweiten von dem ersten Auswerteverfahren unabhängigen Auswerteverfahren unterzogen, in dem bestimmt wird, ob der Füllstand 7 mindestens einen vorgegebenen Füllstand über- oder unterschreitet.

[087] In Fig. 1 sind beispielhaft zwei vorgegebene Füllstände  $L_{\max}$  und  $L_{\min}$  eingezeichnet. Die Höhe der vorgegebenen Füllstände ergibt sich aus der Anwendung, in der das Füllstandsmeßgerät 5 eingesetzt wird. Der obere vorgegebene Füllstand  $L_{\max}$  ist ein oberer Grenzwert für den Füllstand 7. Dieser sollte bei der dargestellten Anwendung nicht überschritten werden, damit kein Füllgut 1 durch eine in dieser Höhe eingezeichnete Inspektionsöffnung 23 auslaufen kann.

[088] Der untere vorgegebene Füllstand  $L_{\min}$  ist ein unterer Grenzwert für den Füllstand 7. Dieser sollte bei der dargestellten Anwendung nicht unterschritten werden, damit eine in einen Auslaß 25 des Behälters 3 eingebaute Pumpe 27 nicht trocken läuft.

[089] Zur Überwachung der vorgegebenen Füllstände  $L_{\min}$  und  $L_{\max}$  umfaßt die Auswerteeinheit 17 zusätzlich einen der digitalen Einheit 19 zugeordneten zweiten Speicher 22. Das zweite Auswerteverfahren wird ausgeführt, indem auf der digitalen Einheit 19 in dem zweiten Speicher 22 abgelegte Auswertungsprogramme auf die Echosignale  $E$  angewendet werden.

[090] Die Füllstandsmessung und die Überwachung der vorgegebenen Füllstände  $L_{\min}$  und  $L_{\max}$  erfolgt alternativ gemäß einem der in den Figuren 4 und 5 dargestellten Verfahrensabläufen.

[091] Bei dem in Fig. 4 dargestellten Ablauf wird in jedem Meßzyklus eine Messung durchgeführt, bei der Sendesignale  $S$  in Richtung des Füllgutes 1 gesendet und deren Echosignale  $E$  empfangen und aufbereitet werden. Anhand des Echosignals  $E$  jedes Meßzyklusses wird mit dem ersten Auswerteverfahren der Füllstand 7 bestimmt, und mit dem zweiten von dem ersten Auswerteverfahren unabhängigen Auswerteverfahren wird bestimmt, ob der Füllstand 7 mindestens einen vorgegebenen Füllstand, hier  $L_{\min}$  und  $L_{\max}$  über- oder unterschreitet.

[092] Bei dem in Fig. 5 dargestellten Ablauf werden zwei Messungen parallel durchgeführt. Dabei werden jeweils in einem Füllstandsmeßzyklus Sendesignale  $S$  in Richtung des Füllgutes 1 gesendet und deren Echosignale  $E$  empfangen und

aufbereitet. Anhand der im Füllstandsmeßzyklus aufgenommenen Echosignale E wird mit dem ersten Auswerteverfahren der Füllstand 7 bestimmt.

[093] Parallel dazu werden Grenzstandsmeßzyklen durchgeführt, bei denen Sendesignale S in Richtung des Füllgutes 1 gesendet und deren Echosignale E empfangen werden. Anhand der im Grenzstandsmeßzyklus aufgenommenen Echosignale E wird in dem zweiten von dem ersten Auswerteverfahren unabhängigen Auswerteverfahren bestimmt, ob der Füllstand 7 mindestens einen vorgegebenen Füllstand, hier  $L_{\min}$  und  $L_{\max}$ , über- oder unterschreitet.

[094] Die Auswertung der Messungen gemäß dem ersten und dem zweiten Auswerteverfahren erfolgt getrennt. Hierzu ist ein erstes Auswertemodul 23, zur Ausführung des ersten Auswerteverfahrens zur Bestimmung des Füllstands 7, und ein zweites Auswertemodul 25, zur Ausführung des zweiten Auswerteverfahrens zur Feststellung des Über- oder Unterschreitens der fest vorgegebenen Füllstände, hier  $L_{\min}$  und  $L_{\max}$ , vorgesehen. In dem in Fig. 3 dargestellten Ausführungsbeispiel umfaßt das erste Auswertemodul 23 die digitale Einheit 19 und den dieser zugeordneten ersten Speicher 21.

[095] Das zweite Auswertemodul 25 umfaßt die digitale Einheit 19 und einen dieser zugeordneten zweiten Speicher 22. Das zweite Auswerteverfahren wird ausgeführt, indem auf der digitalen Einheit 19 in dem zweiten Speicher 22 abgelegte Auswertungsprogramme auf die Echosignale E angewendet werden.

[096] Das erste und das zweite Auswerteverfahren sind völlig unabhängig voneinander und können getrennt voneinander vor einer Inbetriebnahme ausgetestet und geprüft werden. Das zweite Auswerteverfahren ist weiter unten im Text näher beschrieben. Es ist im Vergleich zu dem ersten Auswerteverfahren sehr einfach aufgebaut und kann daher vorab sehr viel vollständiger überprüft werden. Dies vereinfacht auch den ganzen Entwicklungsprozess mit Spezifikation, Analyse, Design, Implementierung und Tests. Dies erlaubt die Gewährleistung eines hohen Maßes an Meßsicherheit für die Grenzstandsüberwachung.

[097] Die Signalverarbeitung 13 weist vorzugsweise einen ersten und einen zweiten Signalverarbeitungszweig 29, 31 auf. Der erste Signalverarbeitungszweig 29 dient der Aufbereitung der Echosignale E, die zur Bestimmung des Füllstandes 7 verwendet werden. Dieser umfaßt bei dem in Fig. 3 dargestellten Ausführungsbeispiel das Hochfrequenzmodul 14 und das analoge Modul 16.

[098] Der zweite Signalverarbeitungszweig 31 dient der Aufbereitung der Echosignale E, die zur Feststellung des Über- oder Unterschreitens der fest vorgegebenen Füllstände  $L_{\min}$  und  $L_{\max}$  herangezogen werden. Bei dem in Fig. 3 dargestellten Ausführungsbeispiel

umfaßt der zweite Signalverarbeitungszweig 31 das Hochfrequenzmodul 14 und ein zusätzliches analoges Modul 33. Das analoge Modul 33 ist vorzugsweise sehr einfach aufgebaut. Es kann beispielsweise ein Gleichrichter sein, der die eingehenden Signale gleichrichtet. Die Ausgangssignale des zusätzlichen analogen Moduls 33 liegen an Analog-Digital-Wandler 18 an und werden von dort in digitaler Form der digitalen Einheit 19 zugeführt.

[099] Die Aufspaltung der Signalverarbeitung 13 in einen ersten und einen zweiten Signalverarbeitungszweig 29, 31 bietet den Vorteil, daß die beiden Signalverarbeitungszweige 29, 31 getrennt ausgetestet werden können. Der zweite Signalverarbeitungszweig 31 ist im Vergleich zu dem ersten einfacher aufgebaut. Entsprechend kann dessen zuverlässiges Funktionieren leichter und vollständiger im Hinblick auf alle möglicherweise auftretenden Meßsituationen hin ausgetestet werden. Dies bietet den Vorteil, daß für die den zweiten Signalverarbeitungszweig 31 nutzende Überwachung der vorgegebenen Füllstände, hier  $L_{\min}$  und  $L_{\max}$ , durch entsprechende Tests ein höheres Maß an Sicherheit garantiert werden kann als für die Füllstandsmessung.

[100] Fig. 6 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel für den Aufbau eines mit Mikrowellen arbeitenden Füllstandsmeßgeräts 5. Aufgrund der großen Übereinstimmung zu dem in Fig. 3 dargestellten Ausführungsbeispiel sind hier lediglich die bestehenden Unterschiede näher erläutert.

[101] Das in Fig. 6 dargestellte Ausführungsbeispiel weist zwei völlig getrennte Signalverarbeitungszweige 29 und 35 auf. Der erste Signalverarbeitungszweig 29 ist identisch zu dem in Fig. 3 dargestellten ersten Signalverarbeitungszweig 29. Der zweite Signalverarbeitungszweig 35 weist ein zusätzliches Hochfrequenzmodul 37 auf, das parallel zu dem Hochfrequenzmodul 14 an das Sende- und Empfangsmodul 11 angeschlossen ist. Weiter umfaßt der zweite Signalverarbeitungszweig 35 das analoge Modul 33, das an das zusätzliche Hochfrequenzmodul 37 angeschlossen ist.

[102] Weiter weist das in Fig. 6 dargestellte Ausführungsbeispiel zwei völlig getrennte Auswertungsmodule 23 und 41 auf. Das erste Auswertungsmodul 23 entspricht dem in Fig. 3 dargestellten. Das zweite Auswertungsmodul 41 weist eine zusätzliche digitale Einheit 43 auf, die über einen Analog-Digital-Wandler 39 an das analoge Modul 33 angeschlossen ist. Der zusätzlichen digitalen Einheit 43 ist der zweite Speicher 22 zugeordnet.

[103] In Fig. 7 ist ein Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemäßes mit Ultraschall arbeitendes Füllstandsmeßgerät 5 dargestellt.

[104] Es weist als Sende- und Empfangselement 11 einen elektromechanischen Wandler

auf, der in einem topfförmigen Gehäuse angeordnet ist, das von einem Boden abgeschlossen ist. Der elektromechanische Wandler ist beispielsweise ein piezoelektrisches Element. Es können aber auch andere Arten von elektromechanischen Wandlern eingesetzt werden. Das Gehäuse besteht z.B. aus einem Kunststoff, z.B. aus Polypropylen. Der elektromechanische Wandler dient dazu Ultraschall durch den Boden hindurch zu senden und zu empfangen.

- [105] Kernstück des Füllstandsmeßgeräts 5 ist eine digitale Einheit 45, z.B. ein digitaler Signalprozessor. Ein Sendesignalgenerator 47 generiert beispielsweise periodisch kurze Ultraschallwellenpulse, die einem Sendeverstärker 49 zugeführt werden. Die verstärkten analogen Ausgangssignale werden dem Sende- und Empfangselement 11 zugeführt und von diesem als Sendesignale S in den Behälter 3 in Richtung des Füllgutes 1 gesendet. Echosignale E der Sendesignale S werden mittels des Sende- und Empfangselements 11 aufgenommen und einem Empfangsverstärker 51 zugeführt. Dessen Ausgangssignale werden einer analogen Signalverarbeitung 52 zugeführt, die beispielsweise, wie in Fig. 7 dargestellt, einen Bandpaßfilter, einen Gleichrichter und einen Logarithmierer aufweist. Die Ausgangssignale des analogen Signalverarbeitungszweigs 52 sind einem Analog-Digital-Wandler 53 zugeführt, der wiederum an die digitale Einheit 45 angeschlossen ist.
- [106] Analog zu dem zuvor beschriebenen Ausführungsbeispiel mit einem mit Mikrowellen arbeitenden Füllstandsmeßgerät wird erfindungsgemäß auch hier anhand der Echosignale E in einem ersten Auswerteverfahren der Füllstand 7 bestimmt, und in einem zweiten von dem ersten Auswerteverfahren unabhängigen Auswerteverfahren bestimmt, ob der Füllstand 7 mindestens einen vorgegebenen Füllstand, hier  $L_{\min}$  und  $L_{\max}$  über- oder unterschreitet. Dabei stehen die anhand der Figuren 4 und 5 erläuterten Verfahrensabläufe zur Auswahl.
- [107] Analog zu dem in Fig. 3 dargestellten Ausführungsbeispiel weist das in Fig. 7 dargestellte Füllstandsmeßgerät 5 ein erstes Auswertemodul 55, zur Ausführung eines ersten Auswerteverfahrens zur Bestimmung des Füllstands 1, und
- [108] ein zweites Auswertemodul 57, zur Ausführung eines zweiten Auswerteverfahrens zur Feststellung des Über- oder Unterschreitens der fest vorgegebenen Füllstände, hier  $L_{\min}$  und  $L_{\max}$ , auf. Das erste Auswertemodul 55 umfaßt die digitale Einheit 45 und einen dieser zugeordneten ersten Speicher 59. Das erste Auswerteverfahren wird ausgeführt, indem auf der digitalen Einheit 45 in dem ersten Speicher 59 abgelegte Auswertungsprogramme auf die Echosignale E angewendet werden.
- [109] Das zweite Auswertemodul 57 umfaßt die digitale Einheit 45 und einen dieser zu-

geordneten zweiten Speicher 61. Das zweite Auswerteverfahren wird ausgeführt, indem auf der digitalen Einheit 45 in dem zweiten Speicher 61 abgelegte Auswertungsprogramme auf die Echosignale E angewendet werden.

- [110] Bei mit Ultraschall arbeitenden Füllstandsmeßgeräten, die nach dem Laufzeitprinzip arbeiten wird zur Füllstandsmessung vorzugsweise eine optimale Sendefrequenz bestimmt, die die Sendesignale S zur Füllstandsmessung aufweisen. Diese optimale Sendefrequenz ist abhängig von einer Resonanzfrequenz des elektromechanischen Wandlers und hängt von der Temperatur ab. Durch die Verwendung dieser optimalen Sendefrequenz wird eine Verbesserung der Signalqualität erzielt und damit die Genauigkeit der Füllstandsmessung verbessert. Bestimmung und Einstellung dieser Sendefrequenz bergen jedoch Fehlerquellen, die bei der Überwachung der vorgegebenen Füllstände  $L_{\min}$  und  $L_{\max}$  unerwünscht sind und in der Regel nicht durch die Vorteile der verbesserten Signalqualität für die Grenzstandsüberwachung überwogen werden. Bei mit Ultraschall arbeitenden Füllstandsmeßgeräten 5 werden daher zur Feststellung ob einer der vorgegebenen Füllstände  $L_{\min}$  und  $L_{\max}$  über- oder unterschritten ist vorzugsweise Sendesignale S mit einer fest vorgegebenen Sendefrequenz aussendet. Dies bietet ein höheres Maß an Sicherheit für die Grenzstandsüberwachung.
- [111] Selbstverständlich ist die Erfindung nicht auf die beschriebenen Füllstandsmeßgeräte beschränkt. Es können auch andere nach dem Laufzeitprinzip arbeitende Füllstandsmeßgeräte eingesetzt werden. So eignen sich z.B. auch Füllstandsmeßgeräte, bei denen Sendesignale, z.B. kurze elektromagnetische Pulse, entlang einer Sonde, z.B. einem metallischen Seil oder Stab, in den Behälter in Richtung des Füllgutes geführt und am Füllgut reflektiert werden. Auch hier werden Echosignale der Sendesignale aufgenommen, deren Amplituden als Funktion von deren Laufzeit ermittelt und daraus der Füllstand bestimmt. Diese Form der Füllstandsmessung ist unter der Bezeichnung Time-Domain-Reflectometry bekannt.
- [112] Allen nach dem Laufzeitprinzip arbeitenden Füllstandsmeßgeräten ist es gemeinsam, daß anhand der Echosignale E eine Echofunktion ableitbar ist, die eine Amplitude des Echosignals E als Funktion einer Laufzeit darstellt. Eine solche Echofunktion ist in stark vereinfachter Form in Fig. 2 dargestellt.
- [113] Anhand dieser Echofunktion wird erfindungsgemäß in dem zweiten Auswerteverfahren festgestellt, ob mindestens ein vorgegebener Füllstand,  $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$  über- oder unterschritten wird.
- [114] Vorzugsweise wird hierzu in dem zweiten Auswerteverfahren ein Maß für die unter der Echofunktion im Bereich I, II einer jeweiligen für den vorgegebenen Füllstand  $L_{\min}$

,  $L_{\max}$  zu erwartenden Laufzeit  $t_{\min}$ ,  $t_{\max}$  eingeschlossene Fläche bestimmt. Alternativ kann natürlich auch ein Maß für einen Kehrwert der eingeschlossenen Fläche bestimmt werden.

[115] Die zu erwartenden Laufzeit  $t_{\min}$ ,  $t_{\max}$  bestimmt sich aus einem vom Anwender vorgegebenen Abstand des vorgegebenen Füllstandes  $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$  von dem Sende- und Empfangselement 11 und der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Sende- und Empfangssignale S, E im Behälter 3. In Fig. 2 sind die zu erwartenden Laufzeiten  $t_{\min}$ ,  $t_{\max}$ , der dem vorgegebenen maximalen Füllstand  $L_{\max}$  zugeordnete Bereich I und der dem vorgegebenen minimalen Füllstand  $L_{\min}$  zugeordnete Bereich II für die in Fig. 1 dargestellte Anordnung eingezeichnet.

[116] Erfindungsgemäß wird in dem zweiten Auswerteverfahren festgestellt, daß der Füllstand 7 den jeweiligen vorgegebenen Füllstand  $L_{\max}$ ,  $L_{\min}$  überschreitet, wenn das Maß ein vorgegebenes Referenzmaß überschreitet, bzw. es wird festgestellt, daß der Füllstand 7 den jeweiligen vorgegebenen Füllstand  $L_{\max}$ ,  $L_{\min}$  unterschreitet, wenn das Maß ein vorgegebenes Referenzmaß unterschreitet. Wird ein Maß verwendet, das vom Kehrwert der eingeschlossenen Fläche abhängt gilt natürlich analog, daß festgestellt wird, daß der Füllstand 7 den jeweiligen vorgegebenen Füllstand  $L_{\max}$ ,  $L_{\min}$  überschreitet, wenn das Maß ein vorgegebenes Referenzmaß unterschreitet, bzw. daß festgestellt wird, daß der Füllstand 7 den jeweiligen vorgegebenen Füllstand  $L_{\max}$ ,  $L_{\min}$  unterschreitet, wenn das Maß ein vorgegebenes Referenzmaß überschreitet.

[117] Als Maß eignet sich z.B. ein Integral über die Echofunktion im Bereich I, II der jeweiligen für den vorgegebenen Füllstand  $L_{\max}$ ,  $L_{\min}$  zu erwartenden Laufzeit  $t_{\min}$ ,  $t_{\max}$ .

[118] Ebenso kann als Maß ein Mittelwert, Median oder Maximum der Amplituden der Echofunktion  $A(t)$  im Bereich der jeweiligen für den vorgegebenen Füllstand  $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$  zu erwartenden Laufzeit  $t_{\min}$ ,  $t_{\max}$  bestimmt werden.

[119] Als Maß kann aber auch eine beliebige streng monotone Funktion wie z.B. Integral, Mittelwert, Median oder Maximum eingesetzt werden.

[120] Das aktuelle Maß kann wie oben beschrieben für sich genommen ausgewertet werden, indem es mit einem vorgegebenen Referenzmaß verglichen wird.

[121] Alternativ kann aber auch zur Feststellung des Über- oder Unterschreitens der vorbestimmten Füllstände  $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$  anhand der Echofunktion  $A(t)$  ein erstes Maß für die unter der Echofunktion  $A(t)$  im Bereich I, II einer jeweiligen für den vorgegebenen Füllstand  $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$  zu erwartenden Laufzeit  $t_{\min}$ ,  $t_{\max}$  eingeschlossene Fläche bestimmt werden und auf gleiche Weise ein Vergleichsmaß für einen vorgegebenen Referenzbereich R der Echofunktion  $A(t)$  bestimmt werden. Durch einen Vergleich des

jeweiligen ersten Maßes mit dem Vergleichsmaß wird dann bestimmt, ob der Füllstand 7 den jeweiligen vorgegebenen Füllstand  $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$  über- oder unterschreitet.

- [122] Der Referenzbereich R ist in Fig. 2 eingezeichnet. Er ist vorzugsweise so gewählt, daß er außerhalb von allen Bereichen liegt, in denen ausgeprägte Maxima der Echofunktion  $A(t)$  zu erwarten sind. Dies sind beispielsweise Bereiche in denen Laufzeiten von auf Reflektionen am Füllgut 1, am Boden 15 oder aber auch an im Behälter 1 eingebauten Störern zurückzuführende Echos zu erwarten sind. Diese Bereiche lassen sich anhand der Abstände von Boden und Störern zu dem Sende- und Empfangselement 11 und anhand der Füllstandsmessung bestimmen.
- [123] Selbstverständlich reicht es aus ein Überschreiten der Füllstandsobergrenzen und ein Unterschreiten der Füllstandsuntergrenzen zu überwachen. Wird eine Füllstandsberggrenze überschritten bzw. eine Füllstandsuntergrenze unterschritten, so wird vorzugsweise ein Alarm ausgelöst und/oder eine Fehlermeldung abgesetzt.
- [124] Vorzugsweise wird eine Plausibilitätskontrolle der mit dem Füllstandsmeßgerät erzielten Meßergebnisse vorgenommen.
- [125] Dabei wird anhand von Ergebnissen des zweiten Auswerteverfahrens eine Plausibilitätskontrolle von Ergebnissen des ersten Auswerteverfahrens vorgenommen. Aus dem zweiten Auswerteverfahren ist bekannt, ob der aktuelle Füllstand die vorgegebenen Füllstände  $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$  über- bzw. unterschreitet. Hieraus ergibt sich, daß der mit dem ersten Auswerteverfahren ermittelte aktuelle Füllstand 7 oberhalb eines jeden vorgegebenen Füllstandes  $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$  liegen muß, der gemäß dem Ergebnis des ersten Auswerteverfahrens überschritten ist. Umgekehrt muß der mit dem ersten Auswerteverfahren ermittelte aktuelle Füllstand 7 unterhalb eines jeden vorgegebenen Füllstandes  $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$  liegen, der gemäß dem Ergebnis des ersten Auswerteverfahrens unterschritten ist. Ist dies nicht der Fall ist das Ergebnis des ersten Auswerteverfahrens fehlerhaft und sollte verworfen oder zumindest überprüft werden.
- [126] Selbstverständlich ist auch eine Plausibilitätskontrolle in umgekehrter Form möglich, bei der die Ergebnisse des zweiten Auswerteverfahrens anhand der Ergebnisse des ersten Auswerteverfahrens überprüft werden. Dieser Form ist jedoch ein geringer Stellenwert zuzuordnen, da die Sicherheit und Zuverlässigkeit der mit dem zweiten Auswerteverfahren gewonnen Ergebnisse höher ist als die der mit dem ersten Auswerteverfahren gewonnen Ergebnisse.

## Ansprüche

- [001] 1. Verfahren zur Messung eines Füllstandes (7) eines Füllgutes (1) in einem Behälter (3) und zur Überwachung mindestens eines vorgegebenen Füllstands ( $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$ ) mit einem nach dem Laufzeitprinzip arbeitenden Füllstandsmeßgerät (5), bei dem in jedem Meßzyklus Sendesignale (S) in Richtung des Füllgutes (1) gesendet und deren Echosignale (E) empfangen werden, anhand der Echosignale (E) in einem ersten Auswerteverfahren der Füllstand (7) bestimmt wird, und anhand der Echosignale (E) in einem zweiten von dem ersten Auswerteverfahren unabhängigen Auswerteverfahren bestimmt wird, ob der Füllstand die vorgegebenen Füllstände ( $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$ ) über- oder unterschreitet.
- [002] 2. Verfahren zur Messung eines Füllstandes (7) eines Füllgutes (1) in einem Behälter (3) und zur Überwachung mindestens eines vorgegebenen Füllstands ( $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$ ) mit einem nach dem Laufzeitprinzip arbeitenden Füllstandsmeßgerät (5), bei dem in einem Füllstandsmeßzyklus Sendesignale (S) in Richtung des Füllgutes (1) gesendet und deren Echosignale (E) empfangen werden, anhand der im Füllstandsmeßzyklus aufgenommenen Echosignale (E) in einem ersten Auswerteverfahren der Füllstand (7) bestimmt wird, und in einem Grenzstandsmeßzyklus Sendesignale (S) in Richtung des Füllgutes (1) gesendet und deren Echosignale (E) empfangen werden, anhand der im Grenzstandsmeßzyklus aufgenommenen Echosignale (E) in einem zweiten von dem ersten Auswerteverfahren unabhängigen Auswerteverfahren bestimmt wird, ob der Füllstand die vorgegebenen Füllstände ( $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$ ) über- oder unterschreitet.
- [003] 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem das Füllstandsmeßgerät (5) einen ersten Signalverarbeitungszweig (27) aufweist, in dem die Echosignale (E) aufbereitet werden, die zur Bestimmung des Füllstandes (7) verwendet werden.
- [004] 4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem das Füllstandsmeßgerät (5) einen zweiten Signalverarbeitungszweig (31, 35) aufweist, in dem die Echosignale (E) aufbereitet werden, die zur Feststellung des Über- oder Unterschreitens der fest vorgegebenen Füllstände ( $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$ ) herangezogen werden.
- [005] 5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem zur Feststellung des Über- oder Unterschreitens der vorbestimmten Füllstände ( $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$ ) aus dem Echosignal (E) eine Echofunktion ( $A(t)$ ) abgeleitet wird, die eine Amplitude des Echosignals (E) als Funktion einer Laufzeit (t) darstellt, ein Maß für die unter der Echofunktion ( $A(t)$ ) im Bereich (I, II) einer jeweiligen für den vorgegebenen

Füllstand ( $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$ ) zu erwartenden Laufzeit ( $t_{\min}$ ,  $t_{\max}$ ) eingeschlossene Fläche bestimmt wird, festgestellt wird, daß der Füllstand den jeweiligen vorgegebenen Füllstand ( $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$ ) überschreitet, wenn das Maß ein vorgegebenes Referenzmaß überschreitet, und festgestellt wird, daß der Füllstand den jeweiligen vorgegebenen Füllstand ( $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$ ) unterschreitet, wenn das Maß ein vorgegebenes Referenzmaß unterschreitet.

- [006] 6. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem das Maß einem Integral über die Echofunktion ( $A(t)$ ) im Bereich (I, II) der jeweiligen für den vorgegebenen Füllstand ( $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$ ) zu erwartenden Laufzeit ( $t_{\min}$ ,  $t_{\max}$ ) entspricht.
- [007] 7. Verfahren nach Anspruch 5, bei dem das Maß einem Mittelwert, Median oder Maximum der Amplituden der Echofunktion ( $A(t)$ ) im Bereich (I, II) der jeweiligen für den vorgegebenen Füllstand ( $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$ ) zu erwartenden Laufzeit ( $t_{\min}$ ,  $t_{\max}$ ) entspricht.
- [008] 8. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem zur Feststellung des Über- oder Unterschreitens der vorbestimmten Füllstände ( $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$ ) aus dem Echosignal (E) eine Echofunktion ( $A(t)$ ) abgeleitet wird, die eine Amplitude des Echosignals (E) als Funktion einer Laufzeit ( $t$ ) darstellt, ein erstes Maß für die unter der Echofunktion ( $A(t)$ ) im Bereich (I, II) einer jeweiligen für den vorgegebenen Füllstand ( $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$ ) zu erwartenden Laufzeit ( $t_{\min}$ ,  $t_{\max}$ ) eingeschlossenen Fläche bestimmt wird, auf gleiche Weise ein Vergleichsmaß für einen vorgegebenen Referenzbereich (R) der Echofunktion ( $A(t)$ ) bestimmt wird, und anhand eines Vergleiches des jeweiligen ersten Maßes mit dem Vergleichsmaß bestimmt wird, ob der Füllstand den jeweiligen vorgegebenen Füllstand ( $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$ ) über- oder unterschreitet.
- [009] 9. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem anhand von Ergebnissen des zweiten Auswerteverfahrens eine Plausibilitätskontrolle von Ergebnissen des ersten Auswerteverfahrens vorgenommen wird.
- [010] 10. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem das Füllstandsmeßgerät (5) ein mit Ultraschall arbeitendes Füllstandsmeßgerät (5) ist, das zur Feststellung ob einer der vorgegebenen Füllstände ( $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$ ) über- oder unterschritten ist Sendesignale (S) mit einer fest vorgegebenen Sendefrequenz aussendet.
- [011] 11. Nach dem Laufzeitprinzip arbeitendes Füllstandsmeßgerät (5) mit einem Sende- und Empfangselement (11) zum Senden von Sendesignalen (S) und zum Empfangen von deren Echosignalen (E), einem ersten Auswertemodul (23), zur Ausführung eines ersten Auswerteverfahrens zur Bestimmung des Füllstands (7),

und einem zweiten Auswertemodul (25, 41), zur Ausführung eines zweiten Auswerteverfahrens zur Feststellung eines Über- oder Unterschreitens mindestens eines fest vorgegebenen Füllstands ( $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$ ).

- [012] 12. Nach dem Laufzeitprinzip arbeitendes Füllstandsmeßgerät (5) nach Anspruch 11, mit einem ersten Signalverarbeitungszweig (27) zur Aufbereitung von Echosignalen (E), die zur Bestimmung des Füllstandes (7) verwendet werden, und einem zweiten Signalverarbeitungszweig (31, 35) zur Aufbereitung von Echosignalen (E), die zur Feststellung des Über- oder Unterschreitens der fest vorgegebenen Füllstände ( $L_{\min}$ ,  $L_{\max}$ ) herangezogen werden.

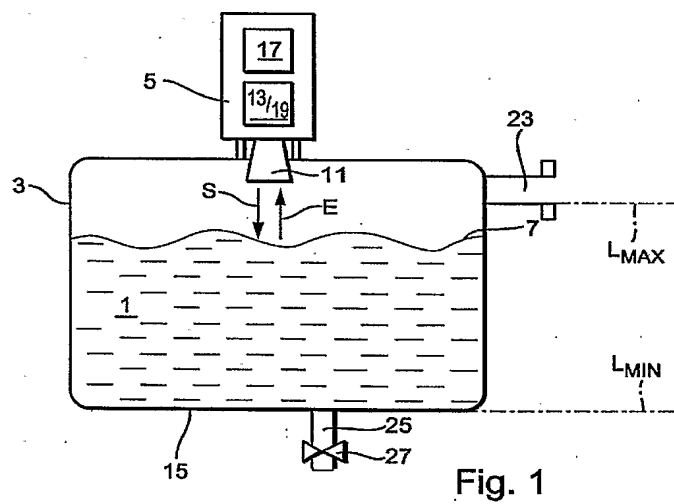


Fig. 1

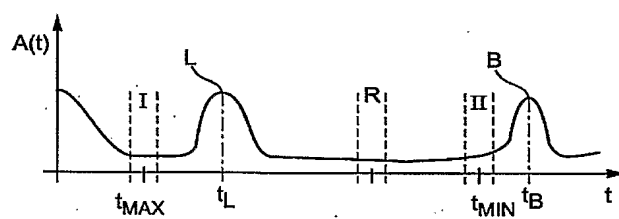


Fig. 2

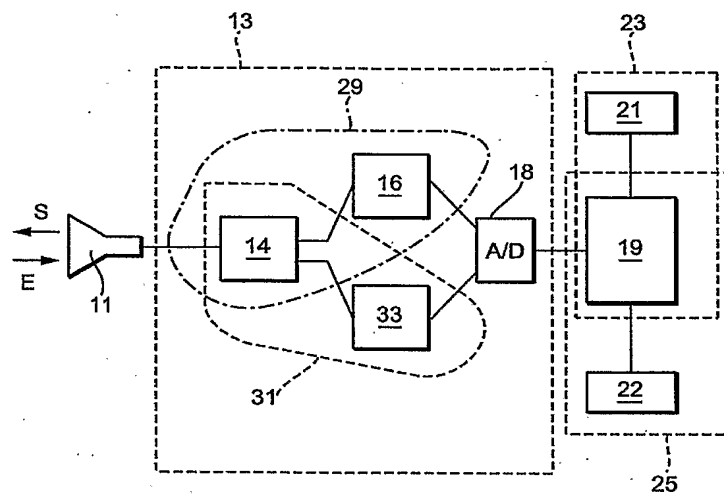


Fig. 3

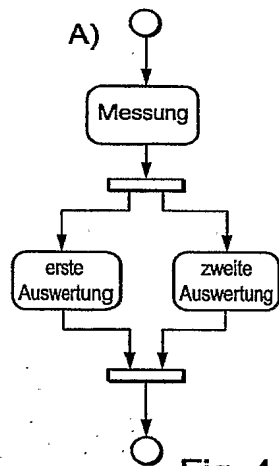


Fig. 4

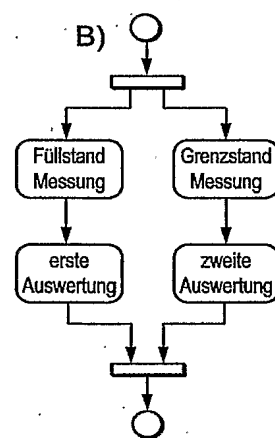


Fig. 5

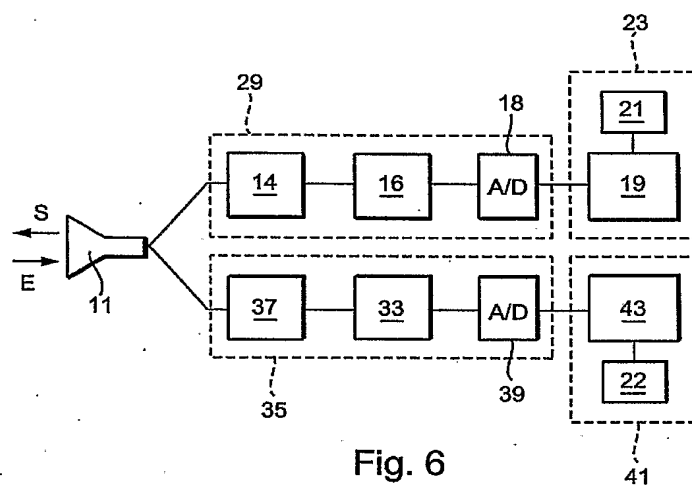


Fig. 6

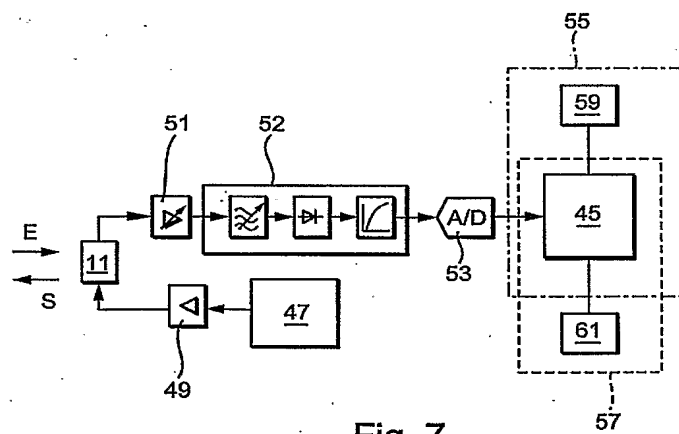


Fig. 7